

2019 -03- 21 *MBiuk.*

Prof. dr hab. Wiesław Płaczek
Instytut Fizyki
im. Mariana Smoluchowskiego
Uniwersytet Jagielloński
ul. Łojasiewicza 11
30-348 Kraków



Kraków, 18 marca 2019

RECENZJA

w postępowaniu habilitacyjnym dr. Kazuki Sakurai

1 Wstęp

Dr Kazuki Sakurai w roku 2006 ukończył studia magisterskie z fizyki na Uniwersytecie Nagoi w Japonii, a w roku 2009 uzyskał tamże stopień doktora nauk fizycznych. Zarówno jego praca magisterska, jak i rozprawa doktorska dotyczyły pewnych fenomenologicznych aspektów modeli supersymetrycznych cząstek elementarnych. Następnie dr Sakurai odbył dwa staże podoktorskie: najpierw półroczny w KEK, Tsukuba, Japonia, a potem dwuletni na Uniwersytecie Cambridge, Wielka Brytania, po czym przez pół roku pracował na stanowisku adiunkta na Uniwersytecie Nagoi, by następnie podjąć kolejny dwuletni staż podoktorski w DESY, Hamburg, Niemcy. Po jego zakończeniu był pracownikiem naukowym najpierw w King's College London (dwa lata), a potem w IPPP, Uniwersytet Durham (16 miesięcy), Wielka Brytania. Natomiast od lutego 2017 roku jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego. Wszystkie wymienione wyżej instytucje to prestiżowe i liczące się w świecie ośrodki badawcze fizyki cząstek.

Poniżej, w kolejnych rozdziałach, dokonuję szczegółowej oceny dorobku naukowego, dydaktycznego oraz organizacyjnego dr. Kazuki Sakurai w odniesieniu wniosku o nadanie mu stopnia naukowego doktora habilitowanego, a na końcu w krótkim podsumowaniu wyrażam moją ostateczną opinię w tej sprawie.

2 Dorobek naukowy

2.1 Podstawowe osiągnięcie naukowe

Podstawowym osiągnięciem naukowym w postępowaniu habilitacyjnym dr. Kazuki Sakurai jest cykl siedmiu powiązanych tematycznie publikacji zatytułowany „*Poszukiwanie*

egzotycznych sygnałów nowej fizyki w LHC". Wszystkie te publikacje są artykułami wieloautorskimi (od dwóch do pięciu autorów) opublikowanymi w trzech renomowanych czasopismach naukowych z listy *Journal Citation Reports (JCR)* o wysokich współczynnikach *Impact Factor (IF)*:

1. **Journal of High Energy Physics (JHEP)** (IF = 6,063): cztery artykuły,
2. **Physical Review D** (IF = 4,557): dwa artykuły,
3. **European Physical Journal C** (IF = 5,297): jeden artykuł.

Wszystkie powyższe prace dotyczą przewidywań teoretycznych dla pewnych sygnałów „nowej fizyki”, tzn. zjawisk wykraczających poza tzw. Model Standardowy (MS) cząstek elementarnych i ich oddziaływań, w odniesieniu do eksperymentów prowadzonych przy Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC) w europejskim ośrodku badawczym CERN koło Genewy w Szwajcarii. Większość z nich dotyczy modeli supersymetrycznych, które próbują naprawić pewne mankamenty MS, zwłaszcza tzw. problem hierarchii, za pomocą hipotetycznej symetrii wiążącej bozony z fermionami, zwanej supersymetrią (SUSY). Jej konsekwencją jest przewidywanie istnienia dużego spektrum cząstek elementarnych nieobecnych w MS. Jak dotąd w eksperymentach fizyki wysokich energii nie zaobserwowano żadnej cząstki supersymetrycznej. Jednak ze względu na to, że modele teoretyczne nie przewidują dokładnej skali mas tych cząstek, ich poszukiwania eksperymentalne ciągle trwają, wykluczając jedynie coraz większe obszary parametrów odpowiednich modeli. Poszukiwania takie nie są łatwe, jako że modele supersymetryczne posiadają bardzo dużą przestrzeń parametrów o skomplikowanej wzajemnej zależności, która dodatkowo może się znacznie zmieniać po uwzględnieniu efektów wyższych rzędów rachunku perturbacyjnego kwantowej teorii pola. Dlatego niezwykle cenne dla eksperymentatorów są wskazania ilościowe ze strony ekspertów od SUSY co do możliwych sygnałów produkcji cząstek supersymetrycznych w odpowiednich eksperymentach. Przykładem tego typu wskazań są prace wchodzące w skład przedstawionego osiągnięcia naukowego Habilitanta oznaczone symbolami [H1–H4] i [H7].

W pracach [H1] i [H2], opublikowanych w *Phys. Rev. D*, zaproponowano nową metodę poszukiwania cząstek supersymetrycznych przewidywanych przez modele tzw. *naturalnej SUSY*, w których masy supersymetrycznych partnerów bozonu Higgsa i kwarku t , zwanych *higgsino* i *stop*, nie mogą być znacząco większe od skali masowej bozonów cechowania, co jest dyktowane przez wymagania *naturalności* odpowiednich wkładów do masy bozonu Higgsa w kontekście jej wartości zmierzonej w LHC. Cząstki te zatem są w zasięgu energii dostępnych w LHC, jednak ich obserwacja nie jest łatwa, jako że nie mogą być bezpośrednio rejestrowane przez detektory, a ich sygnałów można jedynie szukać poprzez brakującą energię poprzeczną \cancel{E}_T produktów zderzeń, co z kolei jest utrudnione przez ogromne tło produkowanych cząstek MS. Proponowana metoda wykorzystuje stowarzyszoną produkcję powyższych cząstek SUSY z kwarkiem t . Pokazano, że analiza \cancel{E}_T oraz produktów rozpadu kwarku t , zarówno w kanale pół-leptonowym [H1], jak i hadronowym (szeroki dżet) [H2] pozwala na znaczne zwiększenie czułości eksperymentów LHC na sygnały pochodzące od tych cząstek. Metoda ta jest obecnie nazywana *metodą sygnatury pojedynczego kwarku t*.

W pracach [H3] i [H4], opublikowanych w JHEP, badano ewentualne sygnatury eksperymentalne modeli supersymetrycznych, w których partnerzy fermionów, czyli *sfermiony*, są znacznie ciężsi od partnerów bozonów cechowania, czyli *gaugin*, tak że ich odkrycie w LHC nie jest możliwe. Modele takie są obecnie bardzo popularne, gdyż zgadzają się pomiarami własności bozonu Higgsa oraz brakiem sygnałów nowej fizyki w LHC. W pracy [H3] analizowano możliwości odkrycia cząstek SUSY oddziałujących elektroslabo, które mogą stanowić składnik ciemnej materii, w przyszłych eksperymentach przy LHC poprzez przypadki z \cancel{E}_T oraz eksperymentach bezpośredniej detekcji, tzn. poszukujących cząstek ciemnej materii w rozpraszaniach na jądrach atomowych, takich jak np. Xenon-1T. Ważnym rezultatem tej pracy jest pokazanie komplementarności obu tych rodzajów eksperymentów odnośnie poszukiwań najlżejszej cząstki supersymetrycznej, co daje możliwość przebadania całej jej przestrzeni parametrów. Natomiast w pracy [H4] zaproponowano nową metodę eksperymentalnego testowania modeli SUSY o rozszczepionym widmie cząstek supersymetrycznych. Zwrócono uwagę, że istnieje obszar w przestrzeni parametrów SUSY z ciężkimi skalarami i higgsinami, gdzie cięższe z elektroslabych *gaugin* staje się długożyciowe, co nie zostało zauważone w poprzednich badaniach. Przeprowadzono analizę rozpadu takich *gaugin* i wyprowadzono wzory na ich czasy życia w granicy ciężkich higgsin, a następnie zidentyfikowano obszar, w którym bino i wina stają się długożyciowe w rozpadach zarówno dwu, jak i trójciałowych. Są to ważne wskazania dla eksperymentów LHC poszukujących sygnałów nowej fizyki.

W pracy [H7], opublikowanej w Eur. Phys. J. C, zaproponowano nowe podejście do problematyki konfrontacji danych eksperymentalnych z przewidywaniami modeli teoretycznych bazujące na metodzie półanalitycznej oraz stworzono odpowiednie narzędzie do tego celu w postaci programu komputerowego o nazwie *Fastlim*. Dzięki wykonywaniu części obliczeń w sposób analityczny, wykorzystaniu pretabulacji oraz interpolacji, program ten jest znacznie wydajniejszy od tradycyjnych metod analiz stosowanych przez grupy eksperymentalne, w których dla każdego modelu oddzielnie wykonywane są czasochłonne symulacje Monte Carlo. Ponadto, program *Fastlim* uwzględnia wszystkie możliwe topologie przypadków tworzące proces sygnałowy, podczas gdy analizy przeprowadzane przez grupy eksperymentalne często zawierają różne uproszczenia. Pierwszym zastosowaniem programu *Fastlim*, zaprezentowanym w pracy [H7], było przebadanie ograniczeń dla modelu naturalnej SUSY w oparciu o dane eksperymentu ATLAS zebrane w pierwszej fazie pracy LHC (tzw. Run 1). Uzyskane wyniki pokazują w szczególności, jak uwzględnienie wszystkich topologii przypadków jest ważne dla uzyskania poprawnych ograniczeń na dozwolone obszary przestrzeni parametrów badanego modelu. Program *Fastlim* stał się istotną częścią większego projektu o nazwie *MasterCode*, którego celem jest konfrontacja przewidywań modeli nowej fizyki z wynikami możliwie najszerszego spektrum eksperymentów fizycznych. O tym jak ważnym narzędziem badawczym jest program *Fastlim* świadczy również to, iż praca [H7] uzyskała dotąd ponad 80 cytowań.

Dwie pozostałe prace, czyli [H5] i [H6] – obie opublikowane w JHEP, nie dotyczą już bezpośrednio modeli SUSY, ale innego rodzaju sygnałów nowej fizyki. Praca [H5] poświęcona jest możliwości zbadania własności bozonu Higgsa względem symetrii CP w procesach jego stowarzyszonej produkcji z parą kwarków $t\bar{t}$ lub z pojedynczym kwarkiem

t/\bar{t} w LHC. Do sprzężenia MS zachowującego symetrię CP dodano sprzężenie łamiące ją w sposób maksymalny w ramach formalizmu tzw. efektywnej teorii pola, który rozszerza MS o nowe oddziaływania znanych cząstek, opisywane operatorami o wymiarze większym niż 4 i odpowiednimi stałymi sprzężenia, zachowując jednocześnie jego podstawowe symetrie. Zaproponowano obserwabla, które są najbardziej czułe na tego typu efekty oraz opracowano odpowiednie metody pomiarowe dla LHC, które otwierają perspektywy rozróżnienia powyższych dwóch rodzajów sprzężeń w oparciu o dane LHC w jego fazie dużej świetlności. Praca ta spotkała się ze sporym zainteresowaniem środowiska fizyków cząstek, bo zebrała dotąd ponad 80 cytowań.

Z kolei praca [H6] dotyczy poszukiwania w LHC sygnatur pewnych nieperturbacyjnych efektów MS, zwanych sfaleronami, które prowadzą do łamania liczb barionowej i leptonowej, zachowując jednocześnie ich różnicę. Sfalerony mają ważne implikacje kosmologiczne ze względu na rolę jaką mogły odegrać w wygenerowaniu asymetrii barionowej we wszechświecie. Istnieją prace teoretyczne sugerujące możliwość obserwacji tego typu zjawisk w eksperymentach akceleratorowych o energiach zderzeń cząstek przekraczających wysokość bariery sfaleronu, tzn. ok. 9 TeV. W pracy tej zbadano możliwości obserwacji sygnałów sfaleronowych w LHC i zauważono, że może być do tego użyta obserwabla stosowana przez eksperyment ATLAS do poszukiwania mini czarnych dziur. Podano ograniczenia na produkcję sfaleronów wynikające z danych tego eksperymentu zebranych w roku 2015 oraz nakreślono dalsze perspektywy tego typu pomiarów, zarówno w LHC, jak i przyszłych zderzaczach hadronów. Praca ta podjęła niezwykle ważne zagadnienia dotyczące naszego rozumienia struktury wszechświata i znalazła oddźwięk w środowisku fizyki cząstek, w szczególności zmobilizowała zespół CMS do przeprowadzenia podobnej analizy w oparciu o zebrane przez ten eksperyment dane.

Artykuły wchodzące w skład powyższego cyklu były cytowane wg bazy INSPIRE-HEP od 7 do 82 razy i w sumie zebrały 230 cytowań, co jest bardzo dobrym wynikiem, jako że obejmują one okres jedynie ostatnich czterech lat. Swój wkład do czterech z nich Habilitant ocenia na 80%, a do trzech na 60%, czyli wyraźnie powyżej połowy. Na podstawie dołączonych oświadczeń współautorów trudno to jednoznacznie potwierdzić, gdyż nie podają oni swojego wkładu procentowego, a jedynie merytoryczny. Wkład ilościowy współautorów w przypadku prac naukowych trudno jest jednoznacznie ustalić w procentach, ważniejsze jest określenie wkładu merytorycznego. W odniesieniu do każdego z powyższych artykułów wkład merytoryczny Habilitanta jest istotny, na co wskazuje przedstawiona dokumentacja. Zatem przedstawiony cykl publikacji [H1–H7] można – w mojej opinii – uznać za osiągnięcie naukowe stanowiące znaczny wkład autora w rozwój dyscypliny naukowej jaką jest fizyka.

2.2 Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze

Dorobek naukowo-badawczy Habilitanta spoza przedstawionego wyżej cyklu publikacji jest również spory. Obejmuje on 53 artykuły naukowe, z czego 44 po uzyskaniu stopnia doktora, opublikowane w zdecydowanej większości renomowanych czasopismach z listy JCR, takich jak Eur. Phys. J. C, JHEP, Phys. Lett. B, Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. D. Ich

sumaryczny współczynnik IF jest bardzo wysoki i wynosi 275,95. Publikacje te spotkały się ze znacznym odzewem środowiska naukowego, bo według bazy danych INSPIRE-HEP uzyskały aż 1434 cytowania oraz osiągnęły wartość 22 tzw. indeksu Hirscha.

Tematycznie dorobek ten związany jest głównie z fenomenologią modeli SUSY w odniesieniu do eksperymentów akceleratorowych fizyki wysokich energii, takich jak LHC czy ILC, jak też niskoenergetycznych eksperymentów wysokiej precyzji, np. pomiar anormalnego momentu magnetycznego mionu, a także eksperymentów poszukujących ciemnej materii przez bezpośrednią detekcję, np. LZ czy Xenon-1T. Dr Kazuki Sakurai jest liczącym się światowym ekspertem w tej dziedzinie i dokonał wielu ważnych przewidywań dotyczących możliwości eksperymentalnych obserwacji sygnałów dla szerokiego spektrum modeli SUSY, jak też wykonał szczegółowe analizy ograniczeń odpowiednich przestrzeni paramentów wynikających z dotychczasowych pomiarów.

Dorobek naukowy Habilitanta jednak nie ogranicza się tylko do tematyki SUSY, ale obejmuje też badanie własności bozonu Higgsa w LHC i przyszłych zderzaczach wysokich energii (potrójna produkcja, sprzężenia poczwórne, sprzężenia anomalne w ramach efektywnej teorii pola), poszukiwanie procesów sfaleronowych w eksperymencie IceCube oraz prace na temat metod pomiaru mas par cząstek z częściowo niewidzialnymi kanałami rozpadu, rekonstrukcji mas cząstek z par łańcuchów rozpadów, rekonstrukcji przypadków z brakującą energią, a także poszukiwania leptokwarków trzeciej generacji w LHC. Badania te zaowocowały około dziesięcioma publikacjami w renomowanych czasopismach naukowych, w tym jedną w Physical Review Letters.

Różnorodność tematyczna publikacji Habilitanta pokazuje jego niezwykle elastyczność badawczą i szeroką wiedzę w zakresie fizyki cząstek, zarówno teoretycznej, jak i doświadczalnej. Na uwagę zasługuje też duża różnorodność współautorów tych artykułów, świadcząca o jego dobrych umiejętnościach nawiązywania współpracy z naukowcami reprezentującymi różne kierunki badań.

Habilitant prowadzi też aktywną współpracę badawczą z wiodącymi ośrodkami naukowymi na świecie, m.in. CERN w Szwajcarii, LBNL-Berkeley w USA, TUM-Monachium i Uniwersytet Moguncji w Niemczech, w ramach projektów badawczych MasterCode, Fastlim i EWKfast dotyczących poszukiwań sygnałów nowej fizyki w szerokim spektrum eksperymentów fizycznych. Jest recenzentem w prestiżowych czasopismach naukowych, takich jak JHEP, Eur. Phys. J. C i Phys. Lett. B. Często prezentuje wyniki swoich badań na konferencjach naukowych i seminariach: wygłosił dotąd 22 referaty na konferencjach międzynarodowych i 25 referatów na seminariach w wielu ośrodkach badawczych na świecie. Wszystko to świadczy, że dr Kazuki Sakurai jest już dojrzałym naukowcem i cenionym w świecie ekspertem w swojej dziedzinie badań.

3 Dorobek dydaktyczny

Dorobek dydaktyczny Habilitanta nie jest tak imponujący jak jego osiągnięcia naukowe, głównie z tego względu, że przez większość swojej kariery zajmował stanowiska badawcze. Przez ostatnie dwa lata prowadził w języku angielskim ćwiczenia z mechaniki

kwantowej dla studentów Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Ponadto w latach 2014–2016 był tutorem na trzech konferencjach na temat metod Monte Carlo dla teorii wykraczających poza MS oraz dwóch szkołach letnich fizyki cząstek BUSSTEPP, a także wykładowcą na PIER Graduate Week 2016 w DESY-Hamburg w Niemczech. Sprawował też nieformalną opiekę nad dwoma doktorantami: jednym na Uniwersytecie w Nagoi (Japonia) i jednym w IPPP Durham (Wielka Brytania), co zaowocowało wspólnymi publikacjami naukowymi.

Powyższe osiągnięcia dydaktyczne są według mnie wystarczające w tym zakresie do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego.

4 Dorobek organizacyjny


Do osiągnięć organizacyjnych Habilitanta należy zaliczyć przede wszystkim kierowanie projektem badawczym Narodowego Centrum Nauki (NCN) w ramach konkursu SONATA-BIS w latach 2018–2019 oraz udział w roli wykonawcy w czterech innych projektach badawczych NCN. Ponadto był on członkiem komitetów organizacyjnych dwóch międzynarodowych konferencji naukowych: w King's College London i na Uniwersytecie Warszawskim.

Taki dorobek organizacyjny spełnia – w mojej opinii – wymagania stawiane w tym zakresie wobec kandydata do uzyskania stopnia doktora habilitowanego.

5 Podsumowanie

Uważam, iż dr Kazuki Sakurai posiada wybitny dorobek naukowo-badawczy, zarówno w zakresie podstawowego osiągnięcia naukowego w postępowaniu habilitacyjnym, jak i poza nim. Jest już dojrzałym i samodzielnym naukowcem oraz liczącym się w świecie ekspertem od fenomenologii modeli supersymetrycznych. Jego dorobek dydaktyczny i organizacyjny nie jest tak bogaty, ale w zupełności wystarczający do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Konkludując stwierdzam, iż dr Kazuki Sakurai z nadmiarem spełnia ustawowe i zwyczajowe wymagania potrzebne do nadania mu stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych. Wnoszę zatem o dopuszczenie go do dalszych etapów postępowania w tej sprawie.


/Prof. dr hab. Wiesław Płaczek/